

Поверхностное натяжение для всех исследуемых составов

№ состава	$\sigma_{\text{стН/м}}$
1	0,416
2	0,418
3	0,407
4	0,406
5	0,409

Затраты на мероприятия по получению качественного сырья окупятся в расчете на конечную продукцию за счет увеличения сроков службы плавильных агрегатов, уменьшения расхода энергоносителей, улучшения качества волокна и, соответственно, укрепления позиции предприятия на рынке.

Список использованных источников

1. Меньшикова Е. А., Казымов К. П., Исаева Г. А., Манькова Т. В., Мещеряков К. А. Исследование пород Пермского края для оценки их пригодности как сырья для производства базальтового волокна // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
2. Пономарев В. Б., Громков Б. К., Орешко С. М., Чебряков С. Г. Технология производства базальтового непрерывного волокна // Базальтовые технологии: науч.-техн. отраслев. журнал. 2013. Июль-декабрь. С. 47-50. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.basalttech.org/mag/>
3. Кочергин А. В. Пути обеспечения производителей минерального волокна габбро-базальтовых сырьем / А. В. Кочергин // Стекло и керамика. 2012. № 12. С. 17-21.
4. Татаринцева О. С., Зависимость вязкости базальтовых расплавов от химического состава исходного минерального сырья / О. С. Татаринцева // Стекло и керамика. 2011. № 10. С. 11-14.
5. Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М. : Стройиздат, 1970. 384 с.

УДК 662.76

АНАЛИЗ КОРРЕКЦИИ СИНТЕЗ-ГАЗА В ПГУ-ВЦГ

ANALYSIS OF THE SYNGAS CORRECTION IN IGCC

Худяков Д. С., Кордюмов О. К., Филиппов П. С., Левин Е. И.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
danil.hudiakow@yandex.ru

Аннотация: Представлен обзор электростанций, работающих в цикле парогазовых установок с внутрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ). В работе рассмотрены составы и теплоты сгорания газового топлива до его разбавления, а также после его разбавления.

Abstract: A review of power plants operating in the cycle of integrated gasification combined cycle (IGCC) is presented. The paper discusses the composition and calorific value of the fuel gas before and after dilution.

Ключевые слова: синтез-газ; ПГУ-ВЦГ; газификация; сжигание синтез-газа.

Keywords: syngas; IGCC; gasification; syngas combustion.

В настоящее время особое внимание уделяется парогазовым установкам с внутрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ). В качестве топлива для выработки электроэнергии на этих установках используется синтез-газ, полученный в результате газификации твердого органического топлива. В настоящее время в мире на промышленном уровне работают много ПГУ-ВЦГ. Большинство ПГУ-ВЦГ (*Buggenum, Tampa Polk* и др.) работают на синтез-газе парокислородной газификации твердого органического топлива и лишь два ПГУ-ВЦГ (*Nakoso, Kemper*) – на синтез-газе воздушной газификации.

Полученный в газификаторе синтез-газ подвергается очистке от загрязнителей (таких как твердые частицы, сера, нитросоединения, хлориды и др.) и коррекции перед его подачей в камеру сгорания. Под коррекцией подразумевается изменение состава синтез-газа путем его разбавления инертном или за счет *shift*-реакции.

Обычно разбавление синтез-газа организуется в случае парокислородной газификации твердого органического топлива. В этом случае при сжигании полученного синтез-газа с теплотой сгорания 9-13 МДж/нм³ возникает угроза повышения температуры горения синтез-газа в камере сгорания ГТУ, что способствует загрязнению окружающей среды оксидами азота (NO_x). Поэтому в ПГУ-ВЦГ с парокислородным газификатором (*Buggenum, Tampa Polk*, и др.) предусмотрено разбавление синтез-газа или окислителя азотом, паром или продуктами сгорания [1]. Азот на разбавление синтез-газа берется из воздуходелительной установки, а пар – из котла-утилизатора или из узла газоохладителя.

В ПГУ-ВЦГ с воздушной газификацией не предусмотрено разбавление синтез-газа перед его сжиганием в камере сгорания ГТУ из-за низкой калорийности (~4-5 МДж/нм³) полученного синтез-газа.

В таблице представлено влияние коррекции синтез-газа на его конечный состав и теплоту сгорания.

В газификаторах типа *Texaco*, *Destec*, *GSP*, где уголь подается в виде водоугольной суспензии, организуется парокислородное дутье. Газификатор типа *Shell* также работает с парокислородным дутьем, но в нем, в отличие от газификаторов типа *Texaco*, *Destec*, *GSP*, организуется сухая подача угля. Теплота сгорания синтез-газов, полученных в этих газификаторах, составляет 8,213-12,47 МДж/нм³, после коррекции – 4,45-7,88 МДж/нм³.

Сравнительные характеристики синтез-газов различных ПГУ-ВЦГ [1, 3, 4]

Параметр	<i>PSI</i>	<i>Tampa Polk</i>	<i>El Dorado</i>	<i>IBIL</i>	<i>Kemper</i>	<i>Buggenum</i>	<i>Shell Pernis</i>	<i>Exxon Singapore</i>	<i>Schwarze Pumpe</i>	<i>Motiva Delaware</i>	<i>Citgo L. Char.</i>	<i>PIEMSA</i>	
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Газификатор	<i>Destec</i>	<i>Texaco</i>	<i>Texaco</i>	<i>Carbona</i>	<i>TRIG</i>	<i>Shell</i>	<i>Shell</i>	<i>Texaco</i>	<i>GSP</i>	н/д	н/д	н/д	
Синтез-газ до коррекции													
H ₂	объемн. %	24,8	37,2	35,4	12,7	11,72	28,6	34,4	44,5	61,9	32	35,68	42,3
CO		39,5	46,6	45	15,3	17,52	63,5	35,1	35,4	26,2	49,5	43,94	47,77
CH ₄		1,5	0,1	0	3,4	2,59	0	0,3	0,5	6,9	0,1	0,03	0,08
CO ₂		9,3	13,3	17,1	11,1	8,54	1,6	30	17,9	2,8	15,8	18,96	8,01
N ₂ +Ar		2,3	2,5	2,1	46	51,15	6,3	0,2	1,4	1,8	2,15	1,2	2,05
H ₂ O		22,7	0,3	0,4	11,5	7,81	0	0	0,1	0	0,44	0,19	0,15
HTC, МДж/нм ³	8,213	9,948	9,516	4,526	4,41	11,12	8,263	9,464	12,47	9,753	9,422	10,64	
Синтез-газ после коррекции													
H ₂	объемн. %	17,85	17,39	16,5	12,63	31,6	12,3	32,47	21,63	39,10	19,39	18,88	20,21
CO		28,43	21,78	21,0	15,21	2	24,8	33,13	17,21	16,55	29,99	23,25	22,82
CH ₄		1,08	0,05	0,00	3,38	2,9	0	0,28	0,24	4,36	0,06	0,02	0,04
CO ₂		6,58	9,41	12,1	7,86	4,4	0,8	21,23	12,67	1,98	11,18	13,42	5,67
N ₂ +Ar		1,63	51,16	50,28	32,56	58,9	42,6	0,14	48,25	1,27	39,06	44,31	51,16
H ₂ O		44,44	0,21		28,36	0,016	19,1	12,74		36,74	0,31	0,13	0,11
HTC, МДж/нм ³	5,91	4,65	4,45	4,5	4,707	4,465	7,8	4,6	7,88	5,91	4,985	5,083	
Разбавление	Пар	N ₂	Пар+N ₂	Пар	Shift	N ₂	Пар	Пар+N ₂	Пар	N ₂	N ₂	N ₂	

В ПГУ-ВЦГ с парокислородной газификацией различаются способы разбавления синтез-газа. В ПГУ-ВЦГ *PSI* синтез-газ с теплотой сгорания 8,2 МДж/нм³ разбавляется до 5,91 МДж/нм³ путем смешения синтез-газа с паром в смесителе. В ПГУ-ВЦГ *Tampa Electric* разбавление синтез-газа выполняется подачей азота в камеру сгорания, снижая тем самым теплоту сгорания с 9,948 до 4,65 МДж/нм³ [2]. В ПГУ-ВЦГ *El Dorado* синтез-газ с теплотой сгорания 9,516 МДж/нм³ подвергается разбавлению паром и азотом, что снижает теплоту сгорания синтез-газа до 4,45 МДж/нм³. Такой же способ разбавления синтез-газа организуется в ПГУ-ВЦГ *Exxon Singapore*, где теплота сгорания синтез-газа снижается от 9,464 до 4,6 МДж/нм³. В ПГУ-ВЦГ *Shell Pernis* разбавление синтез-газа выполняется, как и в ПГУ-ВЦГ *PSI*, паром, но перепад теплоты сгорания значительно меньше (от 8,263 до 7,8 МДж/нм³).

Организация процесса газификации и разбавления синтез-газа в ПГУ-ВЦГ с кислородной газификацией твердого топлива осложняется наличием воздухоразделительной установки и дополнительной системы трубопроводов, подающих пар и/или азот на разбавление синтез-газа.

В ПГУ-ВЦГ *Kemper* используется транспортный газификатор типа TRIG с воздушным дутьем, позволяющая газифицировать низкокачественную уголь. Теплота сгорания полученного синтез-газа составляет 4,41 МДж/нм³. Ввиду низкого значения теплоты сгорания полученного газа в данной ПГУ-ВЦГ разбавление синтез-газа не предусмотрено. Коррекция синтез-газа в данном случае выполняется реакцией водяного сдвига (shift-реакция), что позволяет повысить содержание водорода в синтез-газе без существенного изменения теплоты сгорания синтез-газа. В ПГУ-ВЦГ *Nakoso* синтез-газ получают в газификаторе типа МНІ. Особенностью этого газификатора является использование воздушного дутья, обогащенного кислородом. Теплота сгорания полученного синтез-газа составляет 5,62 МДж/нм³, что исключает возможность организации разбавления синтез-газа.

В последние годы появилась тенденция разработки ПГУ-ВЦГ на синтез-газе с высоким содержанием водорода (ПГУ-ВЦГ *Tae-an*, Корея – на стадии проектирования; ПГУ-ВЦГ *Fukushima*, Япония – пуск в 2017 г.; ПГУ-ВЦГ *Kemper* – в эксплуатации с 2014 г.). Одна из самых старых и высокомоощных ПГУ-ВЦГ *Buggenum* с 2014 г. находится в стадии перехода на сжигание синтез-газа с высоким содержанием водорода. В этой ПГУ-ВЦГ повышение доли водорода в синтез-газе должно достигаться за счет shift-реактора.

В ПГУ-ВЦГ с воздушной газификацией отсутствие воздухоразделительной установки и дополнительной системы трубопроводов на разбавление значительно облегчает работу ПГУ-ВЦГ. А сжигание в камере сгорания ПГУ-ВЦГ синтез-газа с высоким содержанием водорода привлекательно с экономической (возможность продажи NH₃, CO₂, H₂SO₄ сторонним потребителям) и экологической (меньшие выбросы СО и NO_x за счет использования современных технологий сжигания высоководородосодержащих газов) точек зрения.

Список использованных источников

1. Use of poor industrial gases for power generation in the combined cycle / A. Ryzhkov, E. Levin, P. Filippov // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. P. 629-641.
2. Hasegawa T. Developments of gas turbine combustors for air-blown and oxygen-blown IGCC [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-gas-turbine-technology> (дата обращения 26.11.2016).
3. Jones R. M. IGCC gas turbines for refinery applications / R. M. Jones, N. Z. Shilling // Proceeding of the Gasification technologies Conference. San Francisco, USA. October 27-30, 2002.

4. Kemper County IGCC Project Preliminary Public Design Report [Электронный ресурс]. URL: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1080351> (дата обращения 30.11.2016).

УДК 66.041.51

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ

TECHNICAL RE-RING FURNACE

Чапурина А. А., Киселев Е. В.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
alena_chapurina95@mail.ru

Chapurina A. A., Kiselev E. V.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрены основные технические характеристики кольцевой печи. Рассчитан тепловой баланс печи. По полученным данным выявлены основные недостатки работы, в результате чего предложено техническое перевооружение с целью снижения ресурсопотребления.

Abstract: The paper describes the main technical characteristics of the ring furnace. Designed furnace heat balance. The data obtained revealed the main shortcomings of the work, with the result that suggested technical upgrading in order to reduce resource consumption.

Ключевые слова: *кольцевая печь; тепловой баланс; техническое перевооружение; расход топлива.*

Key words: *ring furnace; thermal balance; technical re-equipment; fuel consumption.*

Металлургия является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Функционируют тысячи промышленных печей для нагрева и термообработки изделий и материалов источником энергии, которых служит топливо (топливные печи) или электричество (электрические печи). В связи с повышением цен на энергоносители возрос интерес руководителей промышленных предприятий, представителей государственной власти к экономии топлива, к прогрессивным энергосберегающим технологиям.

Кольцевая печь ТПА-140 цеха Т-2 «Синарского трубного завода» является нагревательной печью с вращающимся подом в виде кольца предназначена для нагрева трубных заготовок из углеродистых и низколегированных марок сталей